苹果园不同覆盖材料对土壤与近地微域环境及树体生长发育的影响

尹晓宁;刘兴禄;董铁;牛军强;孙文泰;马明

(甘肃省农业科学院林果花卉研究所，甘肃　兰州　730070)

摘　要: 干旱是影响陇东雨养区苹果生产的主要限制因素之一，覆盖保墒是保证该区苹果稳产丰产的重要措施。为了探寻适宜于陇东地区苹果园的覆盖保墒措施，本文于 19 年生'长富 2 号'苹果园，采用覆盖麦草(WM)、覆盖细河沙(SM)、覆盖黑色地膜(FM)的地表连续 3 年(2010 年 11 月—2013 年 11 月)的覆盖处理，以清耕(CK)为对照，研究不同覆盖材料对果园环境及树体生长发育的影响。结果表明：4—6 月干旱期，3 年各覆盖处理 0~100 cm 土层的平均含水量均显著(P<0.01)高于对照，其中 WM 处理>SM 处理>FM 处理>CK；覆盖第 3 年，从花芽膨大到果实采收，叶幕形成(幼果期)前 0~500 cm 土层 WM 处理和 SM 处理的耗水量显著(P<0.01)低于 CK，叶幕形成后则显著(P<0.05)高于 CK，但耗水总量略低于 CK；FM 处理在叶幕形成前后均显著(P<0.01)高于 CK。WM 处理降低 3—8 月份 5~25 cm 各土壤温度，而升高了 9—11 月份土温，但 5~25 cm 平均地温日变幅始终显著(P<0.05)低于 CK，同时近地表气温降低相对湿度升高; SM 处理对地温的影响较小，但明显提高近地表气温而降低相对湿度; FM 处理的地温及日变幅始终高于 CK，近地表气温和相对湿度与 CK 接近，但各种覆盖对物候期均无明显影响。总体 0~60 cm 土层各种养分含量顺序为 WM 处理>CK>FM 处理>SM 处理，且 WM 处理随年份增幅较大; FM 处理 0~20 cm 土层与 SM 处理 0~60 cm 各土层的有机质、全氮和碱解氮等养分降低最显著，相应的全盐量(包括 WM 处理 0~20 cm 土层)均显著(P<0.01)低于 CK。各种覆盖增加了树体枝条生长量，但对枝类组成影响都不大。各种覆盖增加了果实单果重及产量，均以覆盖麦草处理显著(P<0.05)高于 CK。水分利用效率 WM 处理显著(P<0.01)高于其他处理。综上所述，陇东雨养区苹果园覆盖麦草效果较佳，长期覆沙和覆膜土壤须补充有机肥及其他养分，单一覆膜还需完善。

关键词: 苹果; 地面覆盖; 土壤水分和温度; 树体生长; 产量品质

中图分类号: S661.1

Effect of different mulching material on soil and near-surface apple orchard environment and tree*

YIN Xiaoning, LIU Xinglu, Dong Tie, NIU Junqiang, SUN Wentai, MA Ming**

(Institute of Fruit and Floriculture Research, Gansu Academy of Agricultural Science, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Apple is one of the four highest cultivated fruits in the world and the apple cultivated area and production in china is the highest in the world. Longdong, the Loess Plateau Lying in East Gansu Province, is the largest apple cultivation area in china, with apple cultivated area and yield accounting respectively for 11.11% and 8.75% of the total in the country (Gansu rural Year book 2015). Apple is a major industry towards the alleviation of local poverty and enrichment of the local people. While drought is one of the main limiting factors of apple production under rainfed conditions, and mulching is an important method for improving the yield of apple. A field experiment was designed to find a suitable measure of soil moisture conservation in apple orchards in Longdong. In a 19-year-old Nagafu No.2 apple orchard, wheat straw mulching (WM), river sand mulching (SM), black plastic film mulching (FM) and clean tillage (CK) were applied, the effects on the apple orchard environment and growth and tree development were observed for the period from November 2010 to November 2013. Results showed that from April to June, average soil moisture content in the 0–100 cm soil layers of the three mulching treatments was obviously higher than CK, significantly. Also the order of the amount of soil moisture content under the treatments was WM > SM > FM > CK. In the third year, soil water uptake from the 0–500 cm soil layer under WM and SM treatments was significantly lower than that of CK during the period from flower bud expansion stage to end of leaf canopy development. It was then significantly higher than that of CK for the period from end of leaf canopy development to maturity stage. However, total soil water use for all the treatments was slightly lower than CK. Soil water consumption under FM treatment was significantly higher than CK before and after leaf canopy development. Treatment WM reduced soil temperature in the 5–25 cm soil layer during the period from March to August, increased soil temperature from September to November, but average daily soil temperature amplitude for the 5–25 cm soil layer was always significantly lower than CK. Near-surface temperature decreased while relative humidity increased. Treatment SM had a slight effect on soil temperature, but obviously increased near-surface temperature while decreasing relative humidity. The soil temperature and daily amplitude of FM treatment from March to November were always higher than CK, and the near-surface temperature and relative humidity were close to CK. Three mulching treatments had no obvious effect on phenological period of apple. On the whole, the order of the content of nutrient in the 0–60 cm soil layer was WM > CK > FM > SM. The increase in almost all forms of nutrient was highest under WM treatment. However, organic matter, alkaline hydrolytic and total N in the 0–60 cm soil layer under SM treatment and in the 0–20 cm soil layer under FM

treatment decreased obviously. Correspondingly, total salt content (including in the 0–20 cm soil layer under WM treatment) was significantly lower than CK. All the mulching treatments enhanced apple tree growth, but had little effect on shoot ratio. Those mulching treatments also increased single fruit weight and yield, of which WM treatment was significantly higher than that of CK. Water use efficiency of WM was significantly higher than other treatments, and the order was WM > SM > CK > FM. The results indicated that wheat straw mulching was better for apple orchard cultivation under rainfed conditions in Longdong. River sand mulching and black plastic film mulching should be added organic fertilizer and other nutrients into the soil of apple orchards in the region. The dominant single film mulching measure in the region needed to be perfected.

Keywords: Apple; Soil mulching; Soil moisture; Soil temperature; Tree growth; Yield amount

苹果(*Malus pumila* Mill.)属于蔷薇科(Rosacase)苹果属，为世界 4 大水果之一，我国苹果面积及产量分别占世界苹果总产量和面积的 50%以上。甘肃陇东黄土高原为我国苹果优势产区，面积占全国 11.11%，产量占 8.75%(2015 年甘肃农村年鉴)，已成为当地脱贫致富的支柱性产业。采用以海棠(*Malus* spp.)为主的乔化砧木，品种以‘长富 2 号’为主的长枝型晚熟苹果栽培在陇东占有主导地位。自 20 世纪 70 年代‘富士’品种引入我国，在陇东 80 年代出现第 1 次栽培高潮，现有成龄园主要为 90 年代初期栽植，树龄在 20 年左右，占总面积的 80%以上，承担着主要经济收益。但该区干旱少雨、霜冻等自然灾害频发，始终影响着苹果产业的健康发展，抗旱栽培成为保证苹果持续稳产的重要措施。

地膜覆盖作为干旱半干旱区一项有效保墒措施，因简便易行，已在北方大田作物上广泛应用；而秸秆覆盖和砂石覆盖也得到部分推广。相关领域学者普遍认为覆膜在改善土壤水热状况、活化土壤养分、提高产量，提高养分和水分利用效率方面作用显著，但同时也有因地温升高造成有机质矿化[1]和硝态氮淋溶[2]，耗水量大[3]，水分利用效率也不高的报道[4]；秸秆覆盖改变了地面热量平衡，在协调地温、提高土壤水分含量，改变田间耗水规律，提高产量方面作用显著，并兼有良好的生态效益，但也有因地温降低明显造成减产的报道[5]。砂石覆盖为一种传统的保墒措施，主要分布在西北各省，具有增温保墒，排盐压碱等作用，报道相对较少。这 3 种覆盖在果园中效果如何，近年来也有了初步研究，内容大多侧重于土壤保墒[6]，其次为对部分土壤理化性状[7-9]或土壤微生物和酶类的影响等[10]。而因地面覆盖产生的土壤环境、近地面生态效应及树体地上地下生长的系统研究鲜见报道，缺乏全面的效应评价和机理探究。苹果为深根性多年生树种，根系可达数米，已有水分测定土层多在 1 m 范围之内[6]，甚至仅在土壤表层[7,9]，长期覆盖对较深土层水分分布的影响和利用还比较缺乏。现有研究基本以膜和秸秆两种材料覆盖为主，鲜有将包括沙石在内 3 种不同性质的材料在同一大龄盛果期果园覆盖多年作系统比较。

本文在 19 年生苹果园连续 3 年采用麦秸、细河沙和黑色地膜等材料进行覆盖，较系统地研究了不同覆盖条件下土壤 5 m 内水分动态、表层土壤温度、土壤理化性状、近地表环境、树体营养与生殖生长等效应，分析不同覆盖对各环境因子和树体生长的影响，以及因此引起果园耗水量不同的主要原因，探讨不同性质材料的覆盖特征，分析其机理并提出改进措施，为生产提供可靠的理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

试验设在甘肃省泾川县飞云乡元朝村，属半干旱完全雨养农业区；当地年均气温 10 ℃，无霜期 174 d，年平均日照 2 274 h，年平均降雨量在 450 mm 左右，常年多风，年蒸发量在 1 300 mm 以上。试验区为黑垆土，土层深度>10 m，0~1 m 内土壤容重平均为 1.316 g·cm^{-3}，田间持水量 29.48%。有机质 11.78 g·kg^{-1}，全氮 0.97 g·kg^{-1}，碱解氮 68.81 mg·kg^{-1}，全磷 0.72 g·kg^{-1}，有效磷 25.95 mg·kg^{-1}，全钾 21.4 g·kg^{-1}，速效钾 218.2 mg·kg^{-1}。品种为‘长富 2 号’，19 年生，基砧为怀来海棠(*Malus robusta* Rehd)，树形自由纺锤形，主枝数 13 个，树高 3.0 m；株行距 2.0 m×3.0 m，南北行向。施肥情况：每年株施尿素 1 kg(N46.4%)，NPK 复合肥 1.7 kg(N17%、$P_2O_5$10%、K_2O18%)。试验区设有自动气象站。2011 年、2012 年和 2013 年的降雨量如表 1，其中 2013 年花芽膨大期(3 月 26 日)至新梢停长期(6 月 3 日)、新梢停长期(6 月 4 日)至果实采收前(10 月 1 日)的降雨量分别为 109 mm、495.9 mm。

表 1　2011—2013 年的试验区降雨量

Table 1　Rainfall in 2011–2013 in the study area　mm

年份 Year	1 月 January	2 月 February	3 月 March	4 月 April	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 August	9 月 September	10 月 October	11 月 November	12 月 December	全年 Annual
2011	0	0	6.3	3.5	35	15.0	51.5	24.0	216.0	11.0	23.0	0	385.3
2012	0	0	0	55.3	59.5	47.1	86.1	145.6	109.1	11.6	0	0	514.3
2013	0	0	0	32.9	76.1	52.3	324.2	61.3	58.1	0	0	0	604.9

1.2 试验设计

于 2010 年 11 月 17 日树叶落尽后，选择树体长势相近的集中地块试验。包括 CK 共 4 个处理，分别为覆草、覆沙、覆膜和无覆盖处理，3 次重复，完全随机排列，小区共计面积 120 m^2。覆草处理：用当地产麦秸全园均匀覆盖地面，经踩踏紧实厚度为 23 cm(51 000 $kg \cdot hm^{-2}$)，每年春季补充麦秸至原厚度。覆沙处理：用粒径 1~3 mm 洗净的细河沙全园均匀覆盖，厚度为 7 cm 连续覆盖。覆膜处理：先于树行两侧起垄，成内高外低的“八”字型微垄，树根颈处高 7 cm 左右，垄宽 1.2 m，坡度≤5°，垄面覆盖厚 0.008 mm，宽 1.4 m 的黑色微膜，膜边用土压实，每年春季在原位置换新膜覆盖。对照(CK)清耕，常规管理。

1.3 测定指标和方法

水分测定：每小区 1 株，3 次重复；分别于 2011 年(3 月 25 日、4 月 28 日、5 月 31 日、6 月 15 日、8 月 13 日、9 月 25 日)、2012 年(4 月 30 日、6 月 1 日、6 月 30 日、9 月 3 日、9 月 26 日)和 2013 年(3 月 26 日、6 月 3 日、10 月 1 日)取土；位置为行间距试验株主干 1.2 m 的树冠近外围处(覆膜处理在膜边沿)，20 cm 一层，测定土层 2011 年 0~100 cm，2012 年 0~200 cm，2013 年 0~500 cm，烘干法测定(105 ℃，10 h)土壤质量含水量。2013 年按公式 $W=h \times p \times b \times 10$ 计算土壤储水量[W 为土壤储水量(mm)，h 为土层深度(cm)，p 为土壤容重($g \cdot cm^{-3}$)，b 为土壤质量含水量(%)][4]。其中 0~1 m 土壤容重各处理采用实测值，1~5 m 均采用文献[11]。按公式 $ET=P-\Delta W$ 计算不同生育期及全生育期内群体蒸散量(ET 为该生育期内群体蒸散量(农田耗水量)，P 为该时段降雨量，ΔW 为作物该生育期间土壤储水变化量)[3]。以均值比较。

土温测定：温度计安置在近树冠外围距主干1.0 m的两株间，沿行向在同一水平线上由北向南依次插入5 cm、10 cm、15 cm、20 cm和25 cm长度5支直插式曲管温度计，间距1~2 cm，每处理一组。在3—11月每月的5日、10日、15日、20日、25日和30日测定，遇雨延后；每日选在早晨6:30左右日出前后，中午14:30左右和下午18:30左右日落前后共3次；不同深度的日均温以每天3次的均值计，各月以6 d的均值比较，并以此最大值与最小值之差为生长期地温变幅；不同深度地温日变幅为一天中的最大值与最小值之差，各月以6 d的均值比较。

地上小气候测定：离地面50 cm高度，树冠下距树干50 cm处悬挂干湿温度计测量相对湿度，2011年每日测定时间同地温记录；以每日3次的均值代表当日的气温和相对湿度，各月以6 d的均值比较。

比叶重测定：2013年8月中旬，每处理3株，选择树冠外围大于30 cm的长枝中部成熟混合叶片(一般从基部上数第7~8片叶)100片，用美国产激光叶面积仪CI-203型扫描计算总叶面积；此后用105 ℃杀青30 s，再置入70℃烘箱连续烘24 h以上至恒重，称总叶干重。比叶重=总叶干重/总叶面积($g \cdot m^{-2}$)[12]。

果实品质测定：2011—2013年9月底—10月初果实成熟期，单株重复，每株随机采摘树冠中部一大枝上处于树冠外围及内膛的15个果实，1周后测定各个性状，2013年包括果实水分含量并计算鲜产量或干产量，按公式$WUE=Y/ET$计算产量水平水分利用效率(WUE为鲜产量或干产量水平水分利用效率，Y为鲜产量或干产量，ET为生育期内群体蒸散量)[3]。以均值比较。

土壤养分测定：2011—2013年11月中旬，每处理按“S”形5点随机取样,每样点靠近树冠投影外缘，取0~60 cm深度土样，每20 cm一层(0~20 cm, 20~40 cm, 40~60 cm)，共3层，同层土样均匀混合密封，及时送测。测定内容包括有机质等17个指标。各指标采用常规法测定。

土壤容重：环刀法测定。

土壤根系测定：壕沟法测定[13]。2013年11月中旬，单株重复，于试验株树冠投影中部沿行向挖一条宽度200 cm，深100 cm的垂直剖面，每20 cm一层(0~20 cm, 20~40 cm, 40~60 cm, 60~80 cm和80~100 cm)共5层，分别调查不同粗度根系数量。

枝类组成调查：2011—2013 年于落叶后的 11 月中旬，单株重复，调查试验株新梢生长量及其枝类组成，并计算出各类枝所占百分数。以均值比较。

1.4 数据统计分析方法

采用DPS8.5，选择Duncan检验进行差异显著性比较，采用Microsoft Excel 2003软件绘制图表。

2 结果与分析

2.1 不同材料覆盖对苹果园土壤水分的影响

2.1.1 连续覆盖的保墒效果

由表 2 知，2011—2013 年从花芽膨大至幼果期为降雨稀少的干旱期，0~100 cm 土层的平均含水量 3 种覆盖处理基本显著($P<0.01$)高于 CK，以干旱较重的 2011 年规律最明显，且表现出 WM 处理的水分含量高而稳定，其次为 SM 处理及 FM 处理；0~200 cm 土层的平均含水量(2012—2013 年)WM 处理显著($P<0.05$)高

于CK外，其他覆盖处理与CK间差异不明显；0~500 cm土层的平均含水量(2013年)各覆盖处理显著(*P*<0.05)高于CK。

表2　不同材料覆盖处理的苹果各生育期果园土壤含水量

Table 2　Soil moisture contents at different growth stages of apple under different treatments mulching materials　%

土层 Soil layer (cm)	年份 Year	处理 Treatment	花芽膨大期 Flower bud expanding stage	花期 Flowering stage	新梢停长期 Shoot growth withhold stage	幼果期 Young fruit stage	果实膨大期 Fruit enlargement stage	成熟期 Maturity stage
0~100	2011	WM	20.03±0.113cB	18.97±0.031abA	20.43±0.118aA	18.09±0.128aA	18.53±0.126aA	22.44±0.130aA
		SM	20.67±0.109bB	19.43±0.086aA	19.21±0.200aA	16.9±0.252aAB	17.72±0.348aA	21.95±0.166aAB
		FM	21.84±0.193aA	18.51±0.212bA	19.05±0.445aA	15.68±0.448bB	17.36±0.565aA	22.13±0.082aAB
		CK	19.14±0.084dC	15.40±0.299cB	15.15±0.328bB	12.88±0.053cC	14.18±0.332bB	20.95±0.256bB
	2012	WM	–	21.61±0.345aA	21.82±0.203aA	18.51±0.768aA	24.76±0.352aA	24.44±0.382aA
		SM	–	19.93±0.442abA	19.22±0.069bB	18.06±0.207aA	23.08±0.075aAB	21.66±0.295bAB
		FM	–	18.58±0.772bA	17.02±0.446cC	16.33±0.617abAB	23.25±0.381aAB	24.43±0.201aA
		CK	–	18.36±0.085bA	15.83±0.127dC	14.48±0.368bB	20.48±0.836bB	21.10±0.577bB
	2013	WM	18.42±0.689abA	–	19.63±0.510aA	–	–	21.85±0.251aA
		SM	17.39±0.815abA	–	16.60±0.274bB	–	–	20.23±0.212bB
		FM	19.38±0.556aA	–	20.63±0.170aA	–	–	21.44±0.039aAB
		CK	16.35±0.256bA	–	15.07±0.152cB	–	–	21.26±0.221aAB
0~200	2012	WM	–	20.78±0.489aA	20.94±0.254aA	18.04±0.679aA	21.83±0.780aA	22.57±0.665aA
		SM	–	19.91±0.490abA	19.21±0.143bB	17.57±0.049aAB	20.24±0.433abAB	20.47±0.226bA
		FM	–	18.57±0.836bA	17.44±0.517cC	16.18±0.617bBC	20.75±1.082aAB	22.34±0.590aA
		CK	–	18.52±0.318bA	17.12±0.071cC	15.72±0.317bC	18.40±0.800bB	20.34±0.622bA
	2013	WM	18.95±0.343aA	–	18.55±0.233aA	–	–	21.85±0.251aA
		SM	17.41±0.942aA	–	16.60±0.467bBC	–	–	20.23±0.212bBC
		FM	19.73±0.441aA	–	19.46±0.518aAB	–	–	19.34±0.108bC
		CK	17.67±0.186aA	–	16.01±0.131bC	–	–	21.26±0.221aAB
0~500	2013	WM	18.27±0.473abA	–	18.27±0.197aA	–	–	20.16±0.228aA
		SM	17.86±0.608abA	–	17.85±0.216aA	–	–	19.62±0.295abAB
		FM	19.07±0.169aA	–	17.30±0.461aAB	–	–	18.20±0.402cB
		CK	17.16±0.130bA	–	15.79±0.079bB	–	–	18.60±0.075bcAB

表中数据为平均值±标准误，同列不同小、大写字母分别表示差异达显著(*P*<0.05)和极显著(*P*<0.01)水平；WM、SM、FM和CK分别代表覆盖麦草、覆盖细河沙、覆盖黑色地膜和不覆盖对照。The date was average ± standard error in table. Different small and capital letters in the same column mean significant difference at *P* < 0.05 and *P* < 0.01 levels, respectively. WM, SM, FM and CK in table represent wheat straw mulching, sand mulching, black film mulching and no mulching, respectively.

2.1.2　连续覆盖后0~500 cm土壤含水量动态、土壤储水量和耗水量

由图1知，覆盖3年后，3月下旬苹果花芽膨大期，各覆盖处理0~40 cm的土壤含水量显著(*P*<0.01)高于CK；FM处理各土层的含水量始终较高。6月初新梢停长期，不同覆盖处理100~200 cm的土壤含水量接近，200 cm以下土层的含水量随深度差别逐渐明显，其中280~500 cm土层含水量WM处理和SM处理均显著(*P*<0.01)高于FM处理和CK。10月初果实成熟期，各种处理不同土层含水量分布趋势相似，但FM处理在140~340 cm间各土层显著(*P*<0.01)低于CK，在160~500 cm间各土层显著(*P*<0.01)低于WM处理和SM处理，深层水分未能补偿。同样可知，WM处理3个时期0~80 cm土层含水量始终保持随土层深度逐渐降低，100~500 cm土层含水量变动较大，果实成熟期各土层的含水量基本恢复到花芽膨大期前。

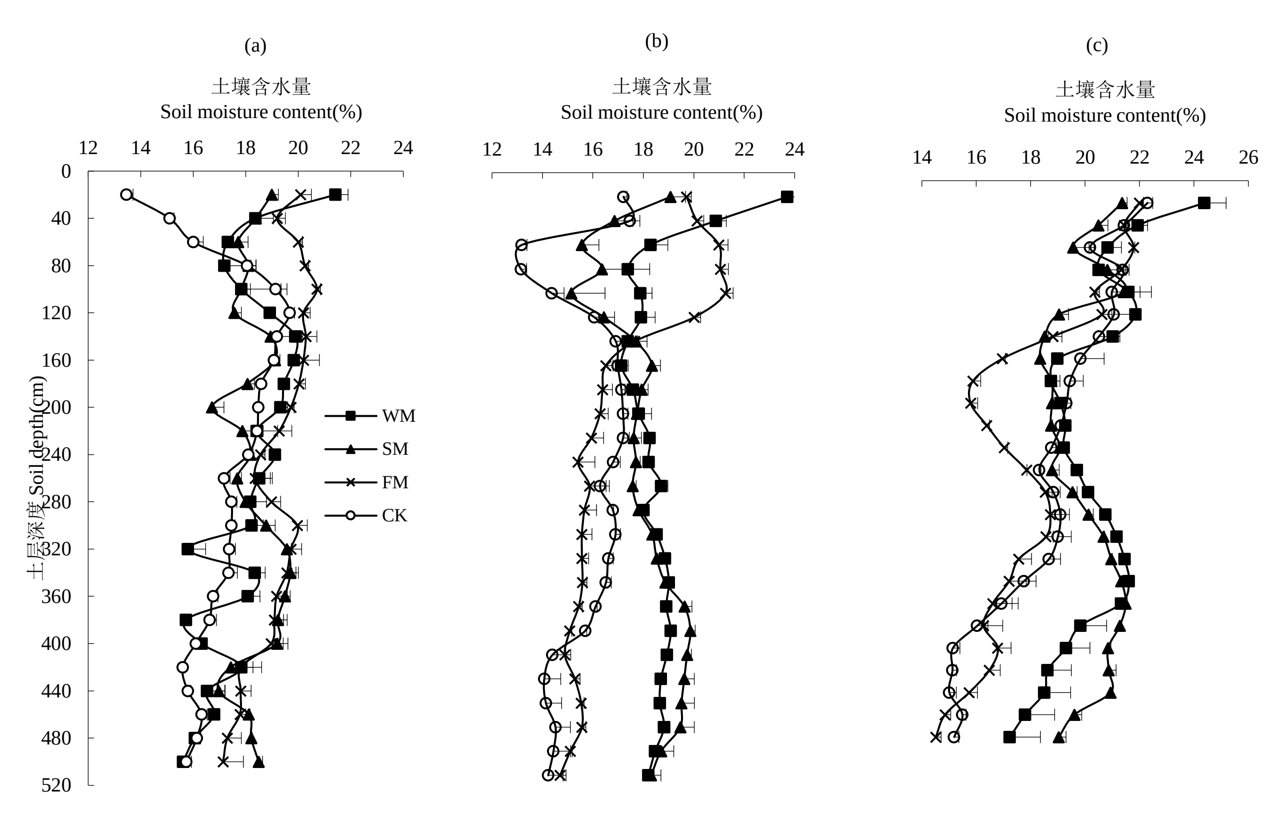


图 1　苹果花芽膨大期(a)、新梢停长期(b)和果实成熟期(c)不同材料覆盖处理 0~500 cm 土层含水量

Fig. 1　Soil moisture contents in 0–500 cm soil layer at flower bud expanding (a), shoot growth withhold (b) and maturity (c) stages of apple under different treatments of mulching materials

SM 处理 3 个时期各土层水分分布相似, 0~60 cm 土层含水量基本随土层深度逐渐降低, 以 0~120 cm 土层的含水量变动大, 果实成熟期各土层的含水量基本得到了恢复。FM 处理 3 个时期 0~100 cm 各土层含水量始终较高, 100~500 cm 土层含水量变动大, 140~500 cm 土层含水量未恢复到花芽膨大期。CK 处理 3 个时期 0~200 cm 土层含水量变动明显大, 200 cm 以下土层含水量变动小呈接近平行的下降趋势, 成熟期 400~500 cm 土层的含水量未能恢复到花芽膨大期。

由表 3 知, 覆盖第 3 年的苹果花芽膨大期各覆盖处理 0~500 cm 土壤储水量均显著高于 CK, FM 处理又显著高于 SM 处理和 WM 处理, 表现出不同的保墒作用。新梢停长期 FM、CK 和 SM 处理的储水量较前期有不同程度降低, 而 WM 提高, 但不同处理均显著高于 CK, 且相互间存在显著差异, 储水量顺序为 WM 处理>SM 处理>FM 处理>CK。成熟期各处理的储水量较新梢停长期提高, 其中 WM 处理和 SM 处理均显著高于 CK 和 FM 处理; 其次除 FM 处理外, 其他处理的储水量都超过花芽膨大期。各处理叶幕形成前耗水量均较少, 占整个果实采摘前耗水总量的 14.5%~38.6%; 而 WM 处理和 SM 处理的耗水量又显著低于 CK(分别低出 66.2%和 59.7%), FM 处理的耗水量显著高于 CK 和其他覆盖处理(高出 33.9%~296.4%)。叶幕形成后到采收期各处理的耗水量均较高, 达到采摘前耗水总量的 61.4%~85.5%, 且各覆盖处理的耗水量都显著高于 CK(高出 8.6%~36.0%)。从花芽膨大的 3 月下旬至果实采摘的 10 月初耗水总量 WM 处理和 SM 处理低于 CK 但不显著, 而 FM 处理显著高于 CK 和其他覆盖处理(高出 26.1%~33.5%)。

表 3　不同材料覆盖苹果园 0~500 cm 土壤储水量及耗水量

Table 3　Soil water storage and water consumption in 0–500 cm soil layer of apple orchard under different treatments of mulching materials　　mm

处理 Treatment	土壤储水量 Soil water storage			土壤耗水量 Soil water consumption		
	花芽膨大期 Flower bud Expanding stage	新梢停长期 Shoot growth withhold stage	成熟期 Maturity stage	叶幕形成前 Before leaf canopy formation	叶幕形成后 After leaf canopy formation	果实采收前 Before harvest
WM	1 174.7±7.06bB	1 216.9±4.44aA	1 319.5±20.88aA	66.8±4.97dD	393.3±17.60aAB	460.1±13.88bB
SM	1 193.7±12.00bAB	1 178.9±2.22bB	1 303.4±3.22aA	123.8±9.86cC	371.3±4.84aAB	495.1±13.49bB
FM	1 244.3±12.67aA	1 088.4±11.22cC	1 157.1±20.59cB	264.8±6.82aA	427.2±25.84aA	692.1±31.11aA

CK	1 113.5±11.13cC	1 024.9±6.55dD	1 206.7±6.49bB	197.7±17.19bB	314.2±13.01bB	511.8±6.93bB

表中数据为平均值±标准误，同列不同小、大写字母分别表示差异达显著(P<0.05)和极显著(P<0.01)水平；WM、SM、FM 和 CK 分别代表覆盖麦草、覆盖细河沙、覆盖黑色地膜和不覆盖对照。The date was average ±standard error in table. Different small and capital letters in the same column mean significant differences at P < 0.05 and P < 0.01 levels, respectively. WM, SM, FM and CK in table represent wheat straw mulching, sand mulching, black film mulching and no mulching, respectively.

2.2 不同材料覆盖对苹果园土壤温度的影响

2.2.1 5~25 cm 土壤温度动态

由图 2 知，各处理不同深度土温变化趋势总体相似。3—6 月和 8 月地温上升，WM 和 CK 处理 5~25 cm 5 个土壤深度及其平均日均温在 8 月出现峰值(CK 处理 5~10 cm 土温在 6—8 月份较平稳)，SM 处理和 FM 处理的峰值在 6 月(除 FM 处理 25 cm 在 8 月外)；地温表现为 FM 处理>SM 处理>CK>WM 处理，以较浅深度的地温差异较大。与 CK 处理相比，WM 处理 3 月 5 cm 地温低 4.27 ℃(P<0.05)，4—6 月份各深度地温分别低 3.41~8.79 ℃(P<0.01)。而 FM 处理 5—6 月份各深度地温比 CK 高 1.47~4.05 ℃，差异显著(P<0.05)。5~25 cm 平均地温表现为：WM 处理 4—6 月份比 CK 低 3.76~7.15 ℃(P<0.05)，FM 处理 5—7 月份比 CK 高 2.30~2.80 ℃(P<0.01)。9—11 月地温下降，降幅大小基本同之前地温顺序，表现为 FM 处理>WM 处理>SM 处理或 CK，但差异小。

3 月份各处理 10 cm 以下地温低于 7 ℃，根系未开始生长[13]，4—11 月份基本在生长范围内。根系生长期各处理 5 个深度及平均地温变幅顺序均为 FM 处理(13.89~18.28 ℃)>SM 处理(13.99~16.37 ℃)>CK(13.23~14.90 ℃)>WM 处理(10.96~13.01 ℃)，并且地温变幅均随土壤深度加大而减小。

3—8 月各处理均地温随深度逐渐降低，温差也逐月缩小(WM 处理除 3 月外)，同月不同土温温差表现为 FM 处理(0.01~5.91 ℃)>CK(0.02~5.42 ℃)>SM 处理(0.08~3.26 ℃)>WM 处理(0.02~1.24 ℃)；9—11 月份各处理(除 FM 处理各深度接近外)逐渐转为随深度地温升高，土温温差总体变小，在 0.01~1.27 ℃之间，规律性不再明显(图 2)。

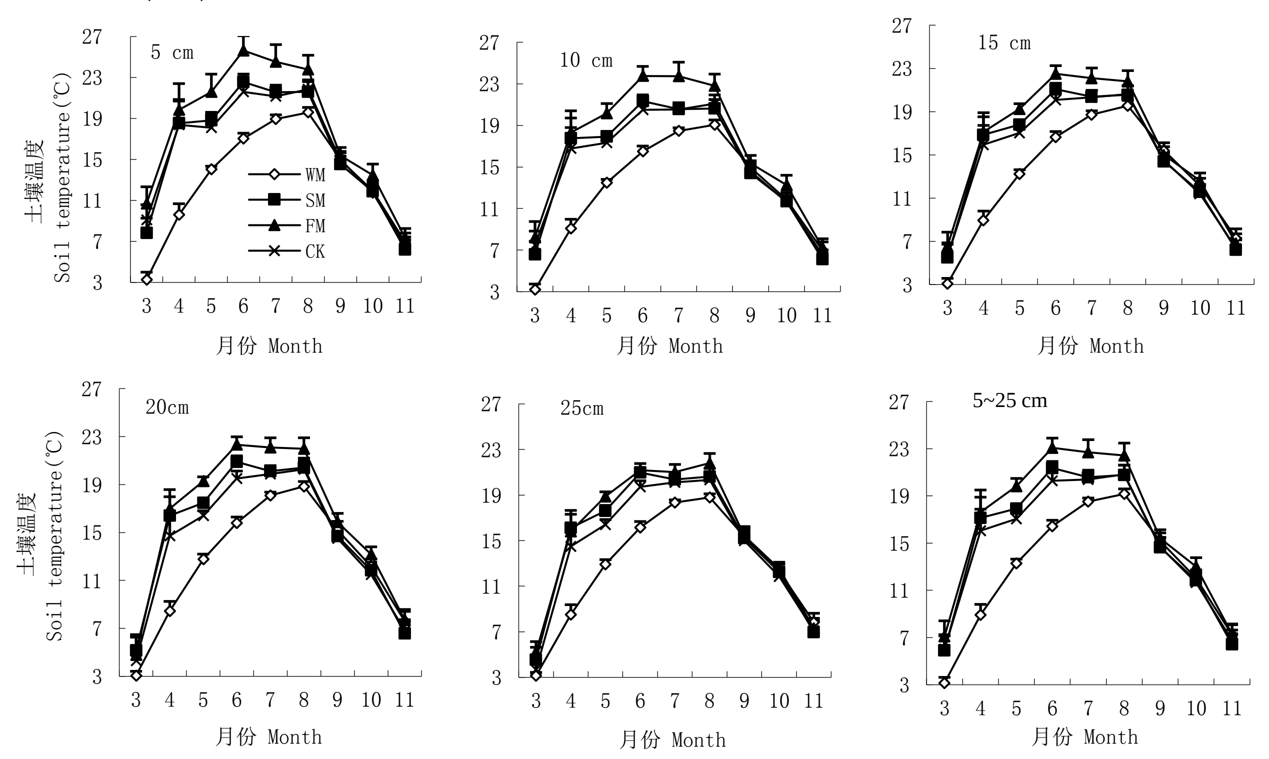


图 2　不同材料覆盖处理苹果园 5~25 cm 各土壤深度日均温苹果生长期动态变化

Fig. 2　Dynamic changes of daily average temperatures of different layers of 5–25 cm soil of apple orchard under different treatments of mulching materials during apple growth season

WM、SM、FM 和 CK 分别代表覆盖麦草、覆盖细河沙、覆盖黑色地膜和不覆盖对照。WM, SM, FM and CK in table represent wheat straw mulching, sand mulching, black film mulching and no mulching, respectively.

2.2.2 5~25 cm土壤温度日变幅动态

由图 3 知，3—11 月份 4 个处理 5~25 cm 不同深度地温日变幅均随深度逐渐降低，其中 3—9 月份又随月份逐渐降低，10—11 月份有所升高。3—11 月份不同深度日变幅顺序为 WM 处理<SM 处理<CK<FM 处理(3—4 月份 FM 处理<CK)。其中，WM 处理 5~15 cm 土壤(3—11 月份)和 20~25 cm 土壤(6—7 月份)的日变幅均显

著(P<0.05)低于 CK。5~25 cm 土壤平均地温日变幅 WM 处理 3—11 月份显著(P<0.05)低于 CK，而 FM 处理 7 月份显著(P<0.05)高于 CK。

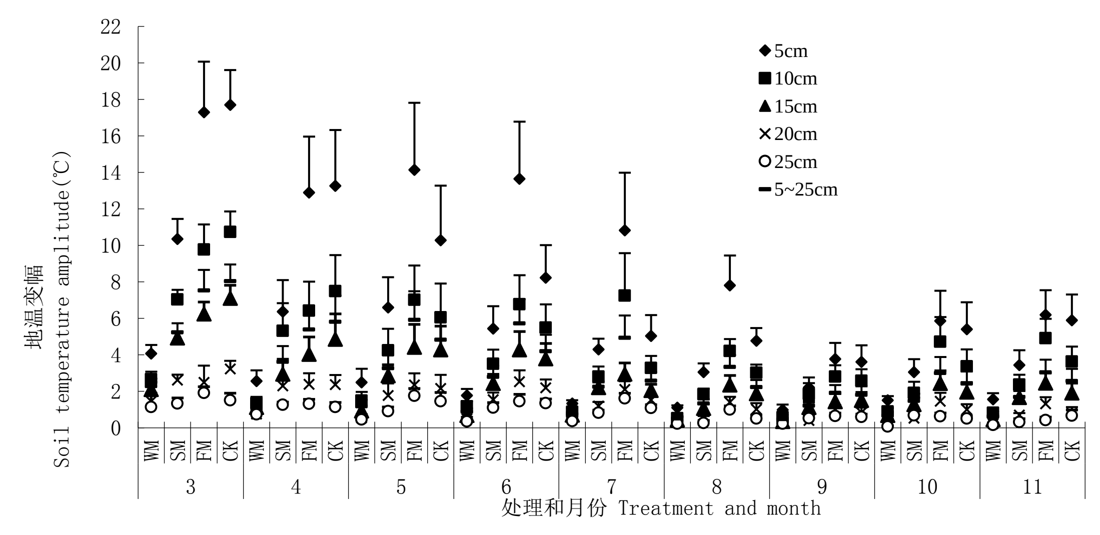


图 3 不同材料覆盖处理苹果园苹果生长期 5~25 cm 各深度地温日变幅动态

Fig. 3 Dynamic changes of temperature daily amplitudes of different layers of 5–25 cm soil of apple orchard under different treatments of mulching materials during apple growth season

WM、SM、FM 和 CK 分别代表覆盖麦草、覆盖细河沙、覆盖黑色地膜和不覆盖对照。WM, SM, FM and CK in table represent wheat straw mulching, sand mulching, black film mulching and no mulching, respectively.

2.3 不同材料覆盖对苹果园近地表气温及相对湿度的影响

由图 4 知，不同材料覆盖处理离覆盖层 50 cm 处的气温除 11 月份外基本为 WM 处理<CK<FM 处理<SM 处理，相差 0~1.7 ℃之间，差异不显著。相对湿度的大小顺序与气温相反，WM 处理较 CK 提高 3.18%~18.13%。7—10 月份 WM 处理的相对湿度在 87.6%~96.8%之间，其中 7 月份和 9 月份显著(P<0.05)高于其他处理(67.7%~86.5%)，8 月份和 10 月份显著(P<0.05)高于 SM 处理(分别为 75.4%和 66.9%)。

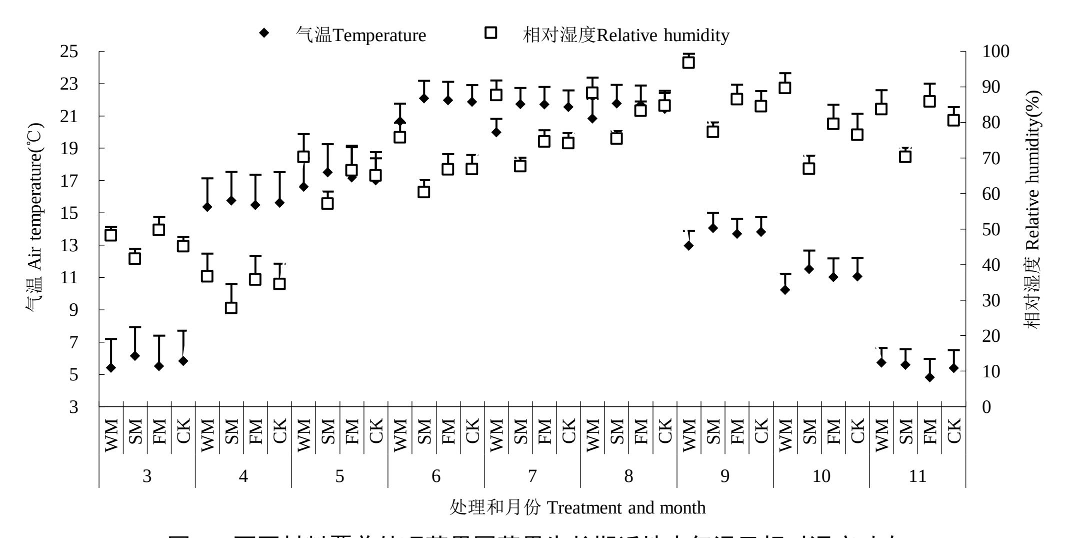


图 4 不同材料覆盖处理苹果园苹果生长期近地表气温及相对湿度动态

Fig. 4 Dynamic changes of near-surface temperature and relative humidity of apple orchard under different treatments of mulching materials during apple growth season

WM、SM、FM 和 CK 分别代表覆盖麦草、覆盖细河沙、覆盖黑色地膜和不覆盖对照。WM, SM, FM and CK in table represent wheat straw mulching, sand mulching, black film mulching and no mulching, respectively.

2.4 不同材料覆盖对苹果园土壤养分含量的影响

由表 4 知，同土层各年份有机质及各大量、中微量元素含量总体表现为 WM 处理>CK>FM 处理>SM 处理(2011 年主要是大量元素有效速效养分含量基本 SM 处理>CK，中微量元素 SM 处理>CK 或 WM 处理)，相互间多差异显著(P<0.01)，且随年份规律性越明显。WM 处理各土层有机质、大量(除 20~60 cm 土层全磷

外)和中微量元素总体随年份以较大幅度增加, 2013 年较 2011 年分别增加 9.32%~29.09%、23.28%~167.5%和 25.00%~603.46%; SM 处理各土层有机质、碱解氮和水溶性钙以较大幅度降低, 分别降低 5.57%~15.57%、21.92%~45.12%和 28.57%~50.00%; FM 处理 0~20 cm 土层有机质降低 4.27%。各处理养分含量基本随土层逐渐降低, 但硝态氮 SM 处理各年份随土层深度逐渐增加为主, 而 CK 以降低为主, WM 处理和 FM 处理由表层含量高, 1 年后均下移至 20~40 cm 土层。土壤全盐量 WM 处理和 FM 处理 0~20 cm 土层均显著(P<0.01)低于 CK, SM 处理 0~60 cm 各土层均显著(P<0.01)低于其他处理。土壤 pH 总体 WM 处理较低, 但 SM 处理始终随土层深度逐渐升高。2013 年 FM 处理 0~20 cm 土层容重显著(P<0.05)低于 CK。

表 4　不同材料覆盖处理苹果园 0~60 cm 土壤理化性状

Table 4　Soil physical and chemical properties in 0–60 cm soil layer of apple orchard under different treatments of mulching materials

年份 Year	土层 Soil layer (cm)	处理 Treatment	有机质 Organic matter (g·kg^{-1})	PH	全氮 Total N (g·kg^{-1})	碱解氮 Alkaline hydrolytic N (mg·kg^{-1})	铵态氮 Ammonium N (mg·kg^{-1})	硝态氮 Nitrate N (mg·kg^{-1})	全磷 Total P (g·kg^{-1})	有效磷 Available P (mg·kg^{-1})	全钾 Total K (g·kg^{-1})	速效钾 Available K (mg·kg^{-1})	有效锌 Available Zn (mg·kg^{-1})	有效硼 Available B (mg·kg^{-1})	有效铁 Available Fe (mg·kg^{-1})	水溶性钙 Soluble Ca (g·kg^{-1})	水溶性镁 Soluble Mg (mg·kg^{-1})	全盐量 Total salt content (%)	容重 Soil bulk density (g·cm^{-3})
2011	0~20	WM	16.5aA	8.09cC	1.16aA	40cC	25.34aA	10.13bB	0.88aA	50.99aA	20.42abA	414aA	1.09bB	0.79bB	5.75bB	0.10cC	–	–	–
		SM	15.2bB	8.06dC	1.06cB	73bB	14.19bB	1.11dD	0.82aA	49.15aA	20.11bA	373bB	1.16aA	0.73cB	6.4aA	0.14bB	–	–	–
		FM	16.4aA	8.22aA	0.99dC	78bAB	12.16bB	4.75cC	0.83aA	28.47bB	20.74aA	251dD	0.31dD	0.67dC	2.97cC	0.24aA	–	–	–
		CK	15.2bB	8.13bB	1.1bB	85aA	12.16bB	20.12aA	0.81aA	23.65cB	20.11bA	292cC	0.46cC	0.99aA	2.51dD	0.11cC	–	–	–
	20~40	WM	12.9aA	8.18cC	0.92bB	63bB	18.25aA	6.65bB	0.84aA	43.64aA	20.11aA	261aA	0.29bB	0.7aA	2.68bB	0.08cC	–	–	–
		SM	12.2bB	8.03dD	0.95aA	82aA	20.27aA	0.92dC	0.71bB	16.47bB	20.11aA	225bB	0.65aA	0.38bB	6.22aA	0.24aA	–	–	–
		FM	10.6cC	8.29aA	0.8cC	44cC	11.15bB	4.39cB	0.66cBC	8.83cC	20.11aA	149cC	0.05dD	0.68aA	1.64dD	0.08cC	–	–	–
		CK	9.52dD	8.24bB	0.82cC	45cC	14.19bB	10.72aA	0.64cC	2.48dD	20.74aA	149cC	0.13cC	0.34cB	1.82cC	0.12bB	–	–	–
	40~60	WM	9.33dB	8.24bAB	0.7cB	81aA	14.19aA	5.66bB	0.65aA	0.98bB	20.11bA	134aA	0.12bB	0.55bB	2.33bB	0.16aA	–	–	–
		SM	9.52cB	8.2cB	0.74aA	62bB	12.16bcB	18.32aA	0.62abAB	1.08bAB	20.11bA	118bcB	0.15aA	0.44cC	3.58aA	0.18aA	–	–	–
		FM	10.9aA	8.29aA	0.72bAB	33cC	11.66cB	3.04cC	0.58bB	1.09abAB	22.63aA	113cB	0.03cC	0.75aA	1.66cC	0.09bB	–	–	–
		CK	10.6bA	8.23bcB	0.73abA	33cC	13.18abAB	3.79cC	0.6bAB	1.23aA	20.11bA	123bAB	0.12bB	0.24dD	3.55bA	0.10bB	–	–	–
2012	0~20	WM	15.65aA	8.51aA	1.15aA	69bB	0.57dD	16.94bB	0.82bB	25.73bB	21.81aA	566aA	1.1bB	0.5cC	6.83dD	0.10cB	9.2cC	0.037bB	–
		SM	11.4cC	8.47aA	0.97cC	68bB	1.7cC	5.64dD	0.79cBC	24cC	21.16bB	273bB	0.97dD	0.58aA	7.33bB	0.10cB	15.0aA	0.033cC	–
		FM	13.6bB	8.5aA	1.07bB	65bB	4.52aA	7.78cC	0.76dC	19.28dD	21.81aA	283bB	1.01cC	0.38dD	7.04cC	0.11bB	6.1dD	0.036bB	–
		CK	13.5bB	8.18bB	1.1bAB	82aA	2.82bB	23.74aA	0.91aA	32.74aA	21.16bB	293bB	1.25aA	0.54bB	7.57aA	0.13aA	12.0bB	0.053aA	–
	20~40	WM	9.51bA	8.39cC	0.88cC	56bB	1.7bB	20.74aA	0.53dC	13.87bB	20.5bB	243bB	0.71bB	0.52aA	6.62aA	0.11aA	18.0cC	0.037cC	–
		SM	8.33cB	8.57aA	0.74dD	30dD	0.57dD	2.39cC	0.66bB	11.4cC	20.5bB	184cC	0.28dD	0.44cC	5.51dD	0.09bB	21.0bB	0.031dD	–
		FM	10.3aA	8.45bB	1.02bB	40cC	1.13cC	18.17bB	0.62cB	11.03cC	21.16aA	174cC	0.38cC	0.3dD	5.64cC	0.11aA	24.0aA	0.049aA	–
		CK	9.9abA	8.34cBC	1.13aA	74aA	2.82aA	20aA	0.83aA	24.72aA	21.16aA	278aA	0.85aA	0.47bB	6.14bB	0.11aA	18.0cC	0.042bB	–
	40~60	WM	8.83abA	8.4bB	0.82bB	47abA	7.35aA	9.11bB	0.64aA	2.94aA	21.16aA	139aA	0.53aA	0.3bB	5.97dD	0.11aA	24.0bB	0.038bA	–
		SM	7.27cB	8.55aA	0.67dD	27cB	0.57dD	6.56dD	0.44cC	3.09aA	20.5bA	119bB	0.18cB	0.37aA	6.62cC	0.09bB	31.aA	0.03dC	–
		FM	8.68bA	8.32cC	0.76cC	40bA	5.09bB	7.32cC	0.51bB	1.02bB	21.16aA	104cC	0.18cB	0.28cB	6.83bB	0.10abAB	24.0bB	0.033cB	–
		CK	9.22aA	8.31cC	0.91aA	51aA	1.7cC	20.00aA	0.52bB	3.09aA	21.16aA	119bB	0.2bB	0.2dC	7.45aA	0.11aA	9.1cC	0.04aA	–
2013	0~20	WM	21.3aA	7.93bB	1.43aA	107aA	8.04bB	68.05aA	1.09aA	88.4aA	23.18aA	643aA	3.23aA	1aA	13.27bB	0.10aA	20.0bB	0.058bB	1.29aAB
		SM	14.2dC	7.77cC	1.08dD	57dD	6.03dD	42.46bB	1.01bB	82.64bB	23.68aA	274cB	2.21dD	0.76bBC	13cC	0.10aA	20.0bB	0.04cC	1.32aA
		FM	15.7cB	7.97aA	1.17cC	84cC	7.46cC	7.2cC	0.9cC	78.89cC	24.05aA	343bB	2.53cC	0.62cC	13.57aA	0.12aA	40.0aA	0.048cBC	1.19bB
		CK	15.9bB	7.96aA	1.26bB	95bB	8.61aA	47.02bB	0.88cC	74.28dD	23.18aA	286cB	2.57bB	0.84bAB	13.13cBC	0.13aA	40.0aA	0.16aA	1.29aAB
	20~40	WM	14.6aA	7.77dC	1.14aA	113aA	8.61bB	83.37aA	0.66cB	85.67aA	23.43aA	542aA	2.04aA	0.88aA	11.86aA	0.19aA	60.0bB	0.1aA	1.36aA
		SM	10.3cC	7.91aA	0.81dD	45cC	6.31dC	25.16cC	0.68cB	28.6dD	22.8aA	281bB	0.68dD	0.54cC	8.03dD	0.12cC	20.0cC	0.04dD	1.28abA
		FM	13.4bB	7.87bAB	1.05cC	86bB	7.46cBC	47.38bB	0.76bA	39.89cC	22.87aA	291bB	1.34cC	0.71bB	9.72cC	0.17bB	10.0dD	0.07bB	1.27abA
		CK	14.6aA	7.83cB	1.09bB	84bB	10.33aA	22.68cC	0.81aA	64.74bB	23.05aA	255bB	1.8bB	0.76bAB	10.39bB	0.13cC	80.0aA	0.051cC	1.24bB
	40~60	WM	10.2bB	7.71dD	0.87bB	107aA	11.48aA	32.37bB	0.44cC	13.04aA	22aA	211aA	0.77aA	0.74aA	8.56cC	0.38aA	30.0cC	0.16aA	1.4aA
		SM	8.99cC	8.04aA	0.72cC	41dC	5.74dD	25.52bBC	0.57bAB	11.74bB	23.3aA	155bB	0.38dD	0.62bAB	8.67cBC	0.12dD	10.0dD	0.043dD	1.34aA
		FM	11.6aA	7.74cC	0.89aA	101bA	8.61bB	6.44cC	0.63aA	12.6aAB	23.05aA	192aAB	0.73bB	0.58bB	9.8aA	0.18cC	130.0aA	0.13bB	1.36aA

CK	8.57dD	7.78bB	0.71cC	80cB	7.46cC	81.12aA	0.54bB	7.56cC	23.05aA	196aAB	0.42cC	0.66abAB	8.84bB	0.29bB	40.0bB	0.083cC	1.29aA

表中数据为平均值±标准误，同列不同小、大写字母分别表示差异达显著(P<0.05)和极显著(P<0.01)水平；WM、SM、FM 和 CK 分别代表覆盖麦草、覆盖细河沙、覆盖黑色地膜和不覆盖对照。The date was average ± standard error in table. Different small and capital letters in the same column mean significant differences at P < 0.05 and P < 0.01 levels, respectively. WM, SM, FM and CK in table represent wheat straw mulching, sand mulching, black film mulching and no mulching, respectively.

2.5　不同材料覆盖对苹果园不同深度土层苹果根系的影响

连续覆盖 3 年后，2013 年 11 月中旬苹果各级根系如图 5。<1 mm 的根系 WM 处理随土层深度增加逐渐减少，0~20 cm 土层 WM 处理显著(P<0.01)高于其他处理；CK 先随土层增加逐渐增多后又逐渐降低，在 40~60 cm 土层最高且显著高于其他处理(P<0.05)；其他覆盖处理在 20~80 cm 土层较高。1 mm 以上根系各处理在不同土层变化不大，各处理间差异基本不显著。

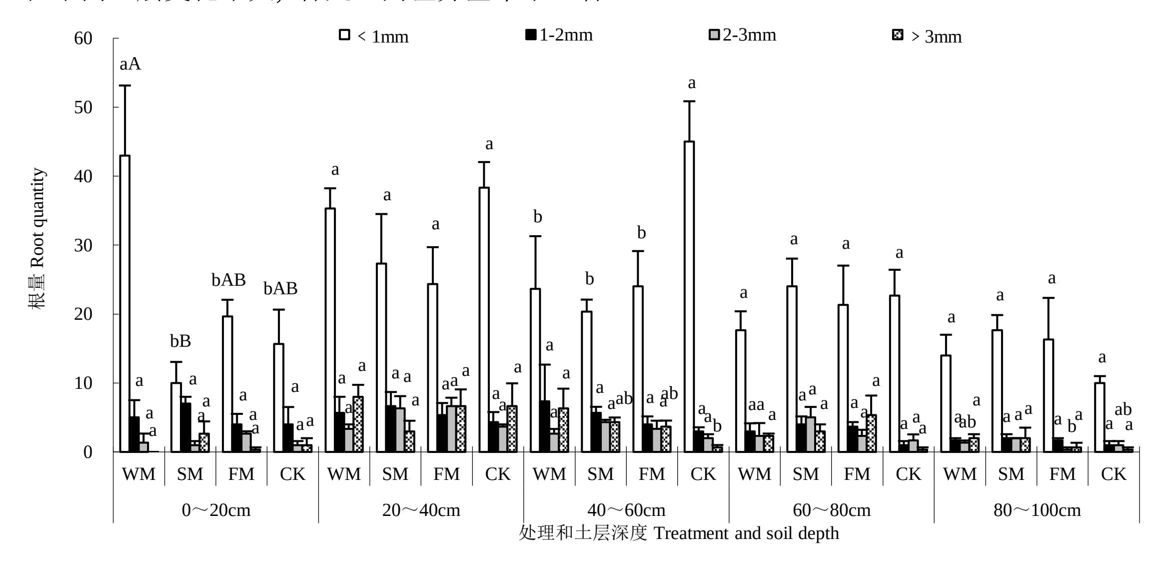


图 5　不同材料覆盖处理苹果园 0~100 cm 土层苹果不同级别根系分布

Fig. 5　Distribution of apple roots with different diameters in 0–100 cm soil layers of of apple orchard under different treatments of mulching materials

WM、SM、FM 和 CK 分别代表覆盖麦草、覆盖细河沙、覆盖黑色地膜和不覆盖对照。WM, SM, FM and CK in table represent wheat straw mulching, sand mulching, black film mulching and no mulching, respectively.

2.6　不同材料覆盖对苹果生长量、枝类比例、比叶重、产量及水分利用效率的影响

由表 5 知，各覆盖处理与 CK 的生长量在 2011 年差别较小，但 2012 年后各覆盖处理生长量均大于 CK，SM 处理的新梢长度在 2012 年和 2013 年分别比 CK 高 30%和 38.9%(P<0.05)。2013 年各覆盖处理比叶重均高于 CK。试验期间各处理新梢粗、总枝量及枝类比例间差异均不显著。

表 5　不同材料覆盖处理下苹果树体生长量、枝类组成及比叶重

Table 5　Growth amount, shoots composition and specific leaf weight of apple trees plants under different treatments of mulching materials

年份 Year	处理 Treatment	新梢长 Shoot length (cm)	新梢粗 Shoot thickness (mm)	总枝量 Total quantity of branches (hm^{-2})	不同枝类比例 Different branches ratio (%)		比叶重 Specific leaf weight ($g·m^{-2}$)
					≤15 cm	>15 cm	
2011	WM	29.6±2.0aA	5.1±0.19aA	1 791 207±162 946aA	68.8±1.51aA	31.2±1.51aA	—
	SM	27.6±1.39aA	4.8±0.21aA	1 694 637±200 638aA	76.2±2.15aA	23.8±2.15aA	—
	FM	28.4±0.69aA	4.6±0.13aA	1 436 562±177 272aA	74.2±3.33aA	25.8±3.33aA	—
	CK	28.8±1.90aA	5.0±0.19aA	1 590 741±319 264aA	70.0±2.96aA	30.0±2.96aA	—
2012	WM	37.5±2.77abA	6.2±0.44aA	1 181 040±160 686aA	76.4±3.22aA	23.6±3.22aA	—
	SM	41.1±1.18aA	6.2±0.13aA	1 020 645±189 861aA	76.5±5.34aA	23.5±5.34aA	—
	FM	37.8±2.47abA	6.4±0.07aA	1 502 940±201 574aA	76.0±2.07aA	24.0±2.07aA	—
	CK	31.7±0.96bA	5.9±0.07aA	1 475 745±289 154aA	73.1±4.30aA	26.9±4.30aA	—
2013	WM	29.0±0.68abA	5.4±0.13aA	1 438 560±108 058aA	70.9±2.25aA	29.1±2.25aA	121.54
	SM	36.4±0.92aA	5.3±0.14aA	1 428 570±40 885aA	71.9±1.65aA	28.1±1.65aA	117.51

FM	28.1±4.71abA	5.0±0.11aA	1 283 715±148 931aA	73.4±6.70aA	26.6±6.70aA	122.96
CK	26.2±2.12bA	5.3±0.34aA	1 398 600±69 930aA	77.1±3.22aA	22.9±3.22aA	112.66

表中数据为平均值±标准误，同列不同小、大写字母分别表示差异达显著(P<0.05)和极显著(P<0.01)水平；WM、SM、FM 和 CK 分别代表覆盖麦草、覆盖细河沙、覆盖黑色地膜和不覆盖对照。The date was average ±standard error in table. Different small and capital letters in the same column meant significant difference at P<0.05 and P<0.01 levels, respectively; WM, SM, FM and CK in table represented wheat straw mulching, sand mulching, blach film mulching and no mulching, respectively.

由表 6 知，各种覆盖处理的单果重第一年(2011 年)以 SM 处理较高，后两年(2012—2013 年)以 WM 处理最高。其他性状差异较小。

表 6　不同材料覆盖处理下苹果果实性状

Table 6　Fruit qualities of apple under different treatments of mulching materials

年份 Year	处理 Treatment	单果重 Single fruit weight (g)	果型指数 Fruit-type index	去皮硬度 Peeled fruit firmness (Kg cm^{-2})	可溶性固形物含量 Soluble solids contents (%)	酸度 Acidity(%)
2011	WM	178.0±5.42abA	0.899±0.006aA	9.03±0.12aA	11.97±0.17bB	0.389±0.361aA
	SM	185.7±4.24aA	0.914±0.014aA	8.83±0.06aAB	11.62±0.22bB	0.364±0.437aA
	FM	182.6±3.56abA	0.895±0.010aA	8.54±0.07bB	11.83±0.13bB	0.383±0.384aA
	CK	170.2±4.43bA	0.887±0.004aA	8.93±0.09aA	13.15±0.14aA	0.385±0.831aA
2012	WM	206.4±1.63aA	0.972±0.005aA	7.80±0.11aA	12.29±0.41aA	0.325±0.033bAB
	SM	190.4±1.63aAB	0.951±0.007aA	8.20±0.13aA	11.53±0.44aA	0.450±0.011aA
	FM	189.2±7.57aAB	0.930±0.020aA	7.83±0.20aA	12.50±0.41aA	0.341±0.044bAB
	CK	159.3±8.88bB	0.927±0.018aA	7.87±0.27aA	12.10±0.70aA	0.217±0.007cB
2013	WM	179.2±9.71aA	0.874±0.011aA	8.10±0.18aA	11.54±0.49aA	0.316±0.037aA
	SM	162.0±5.30abA	0.889±0.010aA	7.98±0.17aA	11.96±0.34aA	0.289±0.031aA
	FM	172.2±1.65abA	0.887±0.012aA	8.18±0.13aA	12.11±0.13aA	0.263±0.040aA
	CK	150.6±6.67bA	0.872±0.012aA	7.90±0.16aA	12.86±0.42aA	0.244±0.009aA

表中数据为平均值±标准误，同列不同小、大写字母分别表示差异达显著(P<0.05)和极显著(P<0.01)水平；WM、SM、FM 和 CK 分别代表覆盖麦草、覆盖细河沙、覆盖黑色地膜和不覆盖对照。The date was average ±standard error in table. Different small and capital letters in the same column mean significant differences at P < 0.05 and P < 0.01 levels, respectively. WM, SM, FM and CK in table represent wheat straw mulching, sand mulching, black film mulching and no mulching, respectively.

由表 7 知，干物质含量覆盖处理低于 CK。鲜产量及干产量覆盖处理均高于 CK，其中 WM 处理鲜产量显著(P<0.05)高于 CK。鲜产量水分利用效率和干产量水分利用效率的顺序均为 WM 处理>SM 处理>CK>FM 处理，WM 处理的鲜产量水分利用效率较其他处理显著(P<0.01)高，高出 18.7%~55.9%。

表 7　不不同材料覆盖处理下苹果产量及水分利用效率

Table 7　Yield and water use efficiency of apple under different treatments of mulching materials

处理 Treatment	干物质含量 Dry matter content (%)	鲜产量 Fresh yield (kg·hm^{-2})	干产量 Dry yield (kg·hm^{-2})	鲜产量水分利用效率 Water use efficiency of fresh yield (kg·mm^{-1}·hm^{-2})	干产量水分利用效率 Water use efficiency of dry yield (kg·mm^{-1}·hm^{-2})
WM	12.27	53 705.8±2 910.33aA	6 589.7±357.10aA	116.8±0.846aA	14.3±0.72aA
SM	13.25	48 549.7±1 589.41abA	6 432.8±210.60aA	98.4±5.86bAB	13.0±0.78aAB
FM	13.96	51 608.3±495.67abA	7 204.5±69.20aA	74.9±3.28cB	10.4±0.46bB
CK	14.15	45 124.8±1 998.31bA	6 385.2±282.76aA	88.3±4.63bcB	12.5±0.65abAB

表中数据为平均值±标准误，同列不同小、大写字母分别表示差异达显著(P<0.05)和极显著(P<0.01)水平；WM、SM、FM 和 CK 分别代表覆盖麦草、覆盖细河沙、覆盖黑色地膜和不覆盖对照。The date was average ±standard error in table. Different small and capital letters in the same column mean significant differences at P < 0.05 and P < 0.01 levels, respectively. WM, SM, FM and CK in table represent wheat straw mulching, sand mulching, black film mulching and no mulching, respectively.

3　讨论

3.1　麦草覆盖有效改善了土壤及近地微域环境，有利于树体生长发育

试验结果表明，果园覆盖麦草首先对土壤水分产生明显影响。覆草不但保墒作用显著，使表层土壤含水量高而稳定，而且协调了土壤水分时空供应，即在叶幕未完全形成前显著降低了土壤的无效蒸发，而在

叶幕形成后果实膨大期的需水关键期[14]显著增加了树体的有效蒸腾，使果实整个发育阶段耗水总量低于不覆盖处理，以利于产量形成。其次，果园覆草降低了春夏季土壤温度，提高了秋季土壤温度，在整个生长期根层土壤的温度变幅显著低于对照，有利于根系生长及养分的吸收供给[13,15]。另外，覆草明显提高了表层土壤有机质含量，增加了各种养分尤其是速效钾含量(2013年较2011年分别增加29.1%和55.3%)，但覆草的1~2年0~20 cm土层的碱解氮显著降低，这与土壤微生物分解腐化麦草消耗大量氮素有关[8]。同时，覆草抑制土壤盐分表聚，与棉花大田研究结果相同[16]，但水溶性镁的含量显著降低未有报道。麦草覆盖对土壤容重的影响不大，这与有关报道结果不同[7-8]，可能是由于本试验麦草连年未做耕翻还田有关。覆草后土壤表层细根显著增多的结果与有关报道一致[13,15-17]。

麦草覆盖对近地微域环境也产生了明显影响，近地温度降低、湿度提高，这与地面有效辐射减少有关[18]，但对苹果开花物候期没有明显影响。

3.2　细沙覆盖具有良好的保墒和促进树体生长发育的作用，但土壤养分降低较大

试验结果表明果园覆盖细河沙其一具有良好的保墒作用，0~500 cm土层内的含水量总体高于不覆盖，与张义等[19]用大粒砂石覆盖结果不同，可能与所用砂石粒径大小和覆盖厚度不同有关[20]。细沙覆盖耗水规律与麦草覆盖相同，耗水总量略低于不覆盖与同一区域通过茎流测定蒸腾[21]的结论基本一致。其二细沙覆盖主要提高了4—7月5~25 cm各土壤温度，但增幅较小，这可能与细沙层的热传导较小及良好通透性有关。其三细沙覆盖0~60 cm土层有机质及各种养分含量随覆盖年限呈现出先增后降的趋势，全盐量也始终显著低于不覆盖处理，与许强、宋日权等[22-23]对砂田研究的结论相似。其原因可能是较厚的细沙层有利于雨水接纳入渗[24]以及形成的土壤水温环境促进了有机质的分解和潜在肥力的有效化[22]。另外，覆沙使近地表气温有所升高，5月份增幅最明显，但全年增幅不大，这可能与地面有效辐射有关[18]。覆沙后促进了树体生长发育，增加了产量，这与之前的相关研究结果一致[19,25]。

3.3　黑膜覆盖保墒集雨作用显著，但土壤耗水量也较明显

果园树盘起垄覆盖黑色地膜具有显著的保墒集雨作用，其突出的优点不但能够减少土壤蒸发，而且可将大多数无效降雨(<5 mm)通过垄面集雨转变为有效降雨，在树盘垄面地膜边侧局部降雨富集，并向膜下侧渗和土壤深层下渗，使降雨得到有效保蓄，而膜侧下部正是苹果 60%~70%根系的分布区域，满足了水分对根系的供给。但是，研究发现连续地膜覆盖 3 年后，幼果期至果实成熟期 140~500 cm 土层的含水量低于于不覆盖，水分消耗大，未能在秋季丰水期降雨后恢复。同时，覆膜后果实整个发育阶段的耗水量始终显著高于不覆盖，此结果与同一区域树干茎流测得的规律一致[26]，也与大田作物的相关试验结果相同[3]。覆膜后土壤耗水量增高的原因可能与地膜增温提墒促进树体水分利用[13,26-28]、加速行间裸露土壤水分蒸发，以及暴雨后径流损失等因素相关。黑色地膜对自然光反射率较低[29]，大部分光能被其吸收转化为土壤的热能[30]。果园覆盖黑膜后 5~20 cm 地温明显升高，6 月份以前较不覆膜增温幅度最大，但对近地面气温影响甚微。

黑膜覆盖后随着年限的延长 0~20 cm 土层有机质总体呈降低趋势，这与同一试验区相关研究结果一致[10]，而全氮、碱解氮、有效硼及有效锌含量也始终显著低于不覆盖处理(其中有效锌在 0~60 cm 土层)，这可能与土壤表层地温偏高、水热气等适宜微生物繁衍，有机质的矿化和无机态养分的转化加速，树体吸收利用消耗养分更多有关[10]。但黑膜覆盖同样降低了 0~20 cm 土层盐份[31]。覆膜后水分垂直蒸发受阻，土壤水分从深层上移至地表后经蒸发凝结在膜表面，再回落、入渗至土壤中[3]，盐分随水分下渗到 20 cm 以下土层；反复的蒸散与淋溶也使表土层的容重降低。

4　结论

陇东旱塬雨养区苹果园利用麦草覆盖、细沙覆盖、黑膜覆盖3种覆盖处理均能显著提高土层0~100 cm的土壤含水量。麦草覆盖明显改善了土壤与近地微域环境，地温变幅小、土壤含水量与多种养分含量增加，促进了树体生长发育及产量与水分利用效率的提高，但覆草后降低了浅土层碱解氮的含量，因此在果园覆草后须喷布一定量的尿素补充因秸秆腐化的氮素损失。细沙覆盖与麦草覆盖的利好功能一致，并且有显著的抑制盐分的作用，但同时加速了土壤多种养分的消耗损失，所以长期覆沙果园需重视增施有机肥补充养分恢复地力，关于养分消耗量较大的问题有待今后深入细致研究。黑膜覆盖提高土壤含水量的保墒集雨和促进树体生长发育等作用毋庸置疑，但整个生育期耗水量较高、水分利用效率较低，致使部分深层土壤含水量降低，多年连续覆膜可能加剧深层土壤干燥，同时，覆膜降低了浅土层有机质、氮素等养分，这些问题还需进一步研究明确。

从3种覆盖方式的综合功能比较，果园覆草是一项集保墒、提高土壤有机质、改良土壤、秸秆还田利用、肥沃土壤的表本兼治多功能技术措施，应大力推广应用。果园覆沙因受沙源、投入高的条件限制大面积应用困难。果园覆膜仅治表不治本，且残膜对土壤及环境有一定污染，应逐步淘汰。

参考文献　References

[1] 潘雅文，樊军，郝明德，等. 黄土塬区长期不同耕作、覆盖措施对表层土壤理化性状和玉米产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(6): 1558–1567
PAN Y W, FAN J, HAO M D, et al. Effects of long-term tillage and mulching methods on properties of surface soil and maize yield in tableland region of the Loess Plateau[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2016, 22(6): 1558–1567
[2] 汪景宽，刘顺国，李双异. 长期地膜覆盖及不同施肥处理对棕壤无机氮和氮素矿化率的影响[J]. 水土保持学报，2006, 20(6): 107–110
WANG J K, LIU S G, LI S Y. Effect of long-term plastic film mulching and fertilization on inorganic N distribution and organic N mineralization in brown earth[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2006, 20(6): 107–110
[3] 王红丽，张绪成，宋尚有，等. 西北黄土高原旱地全膜双垄沟播种植对玉米季节性耗水和产量的调节机制[J]. 中国农业科学, 2013, 46(5): 917–926
WANG H L, ZHANG X C, SONG S Y, et al. Regulation of whole field surface plastic mulching and Double Ridge-Furrow planting on seasonal soil water loss and maize yield in rain-fed area of Northwest Loess Plateau[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(5): 917–926
[4] 侯连涛，江晓东，韩宾，等. 不同覆盖处理对冬小麦气体交换参数及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报，2006，22(9): 58–63
HOU L T, JIANG X D, HAN B, et al. Effects of different mulching treatments on the gas exchange parameters and water use efficiency of winter wheat[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(9): 58–63
[5] 王敏，王海霞，韩清芳，等. 不同材料覆盖的土壤水温效应及对玉米生长的影响[J]. 作物学报, 2011, 37(7): 1249–1258
WANG M, WANG H X, HAN Q F, et al. Effects of different mulching materials on Soil water, temperature, and corn growth[J]. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(7): 1249–1258
[6] 高茂盛，廖允成，李侠，等. 不同覆盖方式对渭北旱作苹果园土壤贮水的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(10): 2080–2087
GAO M S, LIAO Y C, LI X, et al. Effects of different mulching patterns on soil water-holding capacity of non-irrigated apple orchard in the Weibei Plateau[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(10): 2080–2087
[7] 刘建新. 覆草对果园土壤肥力及苹果产量与品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(1): 102–105
LIU J X. The effects of grass covering on soil fertility in orchard and output and quality of apple[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2004, 22(1): 102–105
[8] 赵鹏，王硕，叶素银，等. 梨园秸秆还田腐解特征及对土壤性状的影响研究[J]. 土壤, 2016, 48(2): 270–277
ZHAO P, WANG S, YE S Y, et al. Effects of straw decomposition characteristics on soil properties of pear orchard[J]. Soils, 2016, 48(2): 270–277
[9] 郭学军，韩张雄，马锋旺. 不同覆盖方式对苹果园土壤状况及果树生长与果实的影响[J]. 西北农林科技大学学报：自然科学版, 2013, 41(9): 112–118
GUO X J, HAN Z X, MA F W. Effect of different mulching treatments on changes of soil properties, growth of fruit tree, and yield and quality of fruit[J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2013, 41(9): 112–118
[10] 张林森，刘富庭，张永旺，等. 不同覆盖方式对黄土高原地区苹果园土壤有机碳组分及微生物的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(15): 3180–3190
ZHANG L S, LIU F T, ZHANG Y W, et al. Effects of different mulching on soil organic carbon fractions and soil microbial community of apple orchard in Loess Plateau[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(15): 3180–3190
[11] 王锐，刘文兆，李志. 黄土塬区10m深剖面土壤物理性质研究[J]. 土壤学报, 2008, 45(3): 550–554
WANG R, LIU W Z, LI Z. Physical properties of soils along a 10m deep soil profile in Loess Tableland[J]. Acta Pedologica Sinica, 2008, 45(3): 550–554
[12] 范晶，赵惠勋，李敏. 比叶重及其与光合能力的关系[J]. 东北林业大学学报, 2003, 31(5): 37–39
FAN J, ZHAO H X, LI M. The specific leaf weight and its relationship with photosynthetic capacity[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2003, 31(5): 37–39
[13] 杨洪强，束怀瑞. 苹果根系研究[M]. 北京：科学出版社, 2007: 21–145
YANG H Q, SHU H R. Studies on Apple Roots[M]. Beijing: Science Press, 2007: 21–145
[14] 王进鑫，张晓鹏，高保山，等. 渭北旱塬红富士苹果需水量与限水灌溉效应研究[J]. 水土保持研究, 2000, 7(1): 69–72
WANG J X, ZHANG X P, GAO B S, et al. Study on water requirement and limited irrigation effects of dwarfing red Fuji apple tree on Weibei of Loess Plateau[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2000, 7(1): 69–72
[15] 姜远茂，张宏彦，张福锁. 北方落叶果树：养分资源综合管理理论与实践[M]. 北京：中国农业大学出版社, 2007: 57–118
JIANG Y M, ZHANG H Y, ZHANG F S. The northern deciduous fruit trees of nutrient resource integrated management theory and Practice [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2007: 57–118
[16] 张金珠，王振华，虎胆·吐马尔白. 秸秆覆盖对滴灌棉花土壤水盐运移及根系分布的影响[J]. 中国生态农业学报，2013, 21(12): 1467–1476
ZHANG J Z, WANG Z H, Hudan TUMAREBI. Influence of straw mulching on soil water/salt movement and cotton root distribution under drip irrigation[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(12): 1467–1476
[17] 杨萍，邱慧珍，海龙，等. 表层土壤调控措施对苹果根系形态及活力的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2014, 49(2): 89–95
YANG P, QIU H Z, HAI L, et al. Effects of surface soil management measures on apple root morphology and vitality[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2014, 49(2): 89–95
[18] 易明晖. 气象学与农业气象学[M]. 北京：农业出版社, 1990: 32–43
YI M H. Meteorology and Agricultural Meteorology[M]. Beijing: Agriculture Press, 1990: 32–43
[19] 张义，谢永生. 不同覆盖措施下苹果园土壤水文差异[J]. 草业学报, 2011, 20(2): 85–92
ZHANG Y, XIE Y S. Effects of different patterns of surface mulching on soil hydrology in an apple orchard[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2011, 20(2): 85–92
[20] 关红杰，冯浩. 砂石覆盖厚度和粒径对土壤蒸发的影响[J]. 灌溉排水学报, 2009, 28(4): 41–44

GUAN H J, FENG H. Effects of the thickness and grain size of gravel mulch on soil moisture evaporation[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2009, 28(4): 41–44
[21] 张坤，尹小宁，刘小勇，等. 陇东旱地果园覆沙对苹果树蒸腾耗水及果实品质的影响[J]. 应用生态学报，2010，21(11): 2755–2762
ZHANG K, YIN X N, LIU X Y, et al. Effects of sand-covering on apple trees transpiration and fruit quality in dry land orchards of Longdong, Gansu[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(11): 2755–2762
[22] 许强，吴宏亮，康建宏，等. 旱区砂田肥力演变特征研究[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(1): 37–41
XU Q, WU H L, KANG J H, et al. Study on evolution characteristics of sandy-field in arid region[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2009, 27(1): 37–41
[23] 宋日权，褚贵新，张瑞喜，等. 覆砂对土壤入渗、蒸发和盐分迁移的影响[J]. 土壤学报, 2012, 49(2): 282–288
SONG R Q, CHU G X, ZHANG R X, et al. Effects of sand mulching on soil infiltration, evaporation, and salt distribution[J]. Acta Pedologica Sinica, 2012, 49(2): 282–288
[24] MANDAL U K, RAO K W, MISHRA P K, et al. Soil infiltration, and run off and sediment yield from a shallow soil with varied stone cover and intensity of rain. Eur J Soil Sci, 2005, 56:435-444
[25] 张义，谢永生，郝明德，等. 不同地表覆盖方式对苹果园土壤性状及果树生长和产量的影响[J]. 应用生态学报，2010，21(2): 279–286
ZHANG Y, XIE Y S, HAO M D, et al. Effects of different patterns surface mulching on soil properties and fruit trees growth and yield in an apple orchard[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(2): 279–286
[26] 张坤，王发林，刘小勇，等. 旱地果园起垄覆膜集雨措施对树体水分利用的影响[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(3): 68–71
ZHANG K, WANG F L, LIU X Y, et al. Effect of ridging the land and covering plastic film for rainfall collection on water use of apple trees in dry land orchard[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2011, 30(3): 68–71
[27] 杨文治，邵明安. 黄土高原土壤水分研究[M]. 北京：科学出版社 2000: 197–249
YANG W Z, SHAO M A. Study on Soil Moisture in the Loess Plateau[M]. Beijing: Science Press, 2000: 197–249
[28] 康绍忠，张建华. 不同土壤水分与温度条件下土根系统中水分传导的变化及其相对重要性[J]. 农业工程学报，1997，13(2): 76–81
KANG S Z, ZHANG J H. Hydraulic conductivities in soil-root system and relative importance at different soil water potential and temperature[J]. Transactions of the CSAE, 1997, 13(2): 76–81
[29] 刘克长，任中兴，李申安，等. 不同覆盖措施下龙廷杏梅园地小气候效应研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(5): 145–148
LIU K C, REN Z X, LI S A, et al. Area climate effect on Long-ting *P. simonii* Carr. with the different mulching measurements[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2008, 15(5): 145–148
[30] 刘小勇，李红旭，李建明，等. 不同覆盖方式对旱地果园水热特征的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(3): 746–754
LIU X Y, LI H X, LI J M, et al. The effects of different mulching way on soil water thermal characteristics in pear orchard in the arid area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(3): 746–754
[31] 杜社妮，白岗栓. 玉米地膜覆盖的土壤环境效应[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(5): 56–59
DU S N, BAI G S. Studies on effects of plastic film mulching on soil environment of maize field[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007, 25(5): 56–59